

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES

Volume: 03 Issue: 05 | May 2022 ISSN: 2660-5317

Моделирование Отрывных Течении В Каналах Или Руслах

Мадалиев Муродил Эркинжон угли
PhD ф-м.н, Ферганский политехнический институт, Фергана, ул, Фергана, 86, 150107, Узбекистан
Madaliev.ME2019@mail.ru

Абдуразаков Ахмадулло Мухаммадович
Ферганский политехнический институт, Фергана, ул, Фергана, 86, 150107, Узбекистан
a.abdurazzaqov@ferpi.uz

Received 26th Mar 2022, Accepted 15th Apr 2022, Online 31th May 2022

Аннотация: *Представлены результаты численного исследования структуры несколько вида отрывных течении в канале в зоны их внезапного расширении. Расчеты выполнены на основе решения полной системы нестационарных уравнений Навье-Стокса в переменных скорость-давление методом разностей на установление. Для численного решения уравнений Навье-Стокса использована двух шаговую неявную схему Писмена — Ракфорда. В результате исследованы поля скоростей и давления, изучена вихревая структура циркуляционного течении в области за уступом и определены протяженность.*

Ключевые слова: *уравнения Навье–Стокса, плоский канал с обратным уступом, отрывное течение, схему Писмена — Ракфорда, метод контрольного объема.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование отрывных течений имеет важное значение как с фундаментальной, так и прикладной точек зрения. Течения жидкости во внезапно расширяющихся каналах встречаются в различных технических устройствах и сооружениях. Резкое изменение геометрии стенки канала или поверхности обтекаемого тела способно вызвать отрыв потока и существенно изменить его кинематическую структуру. Течение в канале с внезапным расширением относится к наиболее простому классу отрывных течений, когда точка отрыва потока является фиксированной. Теоретический расчет таких течений представляет большие трудности из-за образования сложных отрывных и возвратно-циркуляционных течений в области за уступом. Первые расчеты стационарных двумерных ламинарных отрывных течений несжимаемой жидкости в каналах были изучены Блазиусом еще в 1910 году аналитически в виде рядов [1]. В дальнейшем эта задача использовалась многими ученными для изучения механизмов отрывных течений и для тестирования разностных схем решения уравнений Навье-Стокса. В силу большой практической значимости такие течения изучались теоретически и экспериментально как для ламинарных [2-4], так и для турбулентных [5- 7] режимов движения несжимаемой и сжимаемой жидкости.

Во многих работах в этом направлении рассматриваются течения в каналах с двусторонним внезапным расширением [8-14]. Экспериментальные данные для этого случая в канале получены в

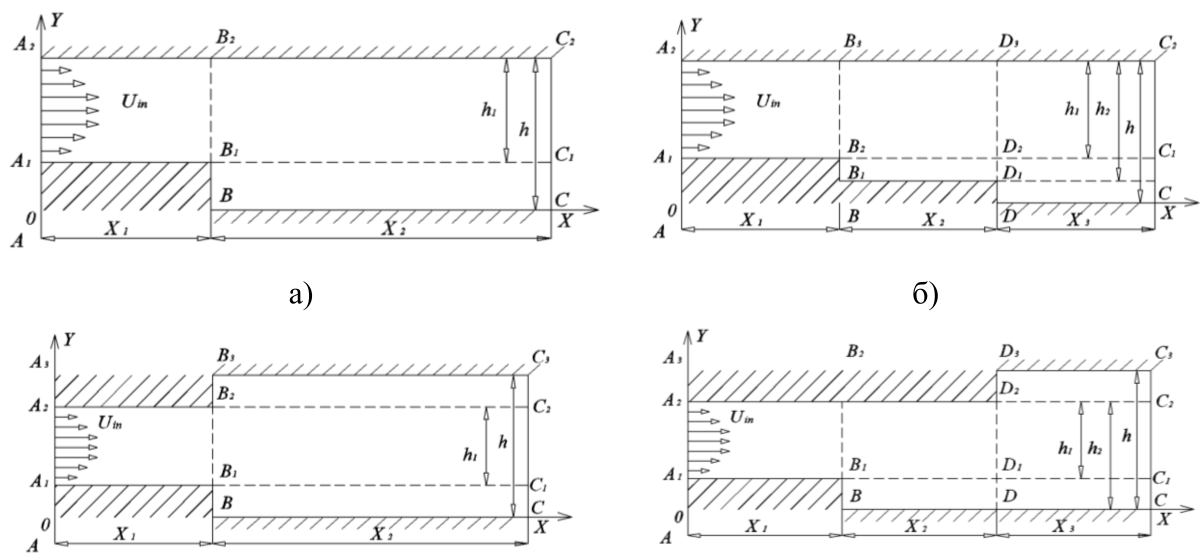
работах [8, 9], в которых отмечается образование циркуляционной зоны за уступом. Ряд исследователей для расчётов течений с внезапным расширением использовали уравнения движения в приближении пограничного слоя [14, 15]. В работе [18] было изучена течении жидкости в канале с внезапным односторонним расширением который было использована полные уравнения Навье-Стокса и взята очень хорошие численные результаты.

Хорошо известно, что численное решение задач о движении вязкой несжимаемой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса осложнено не только их нелинейностью, но и отсутствием явного уравнения для определения давления. Следует отметить, что многие предыдущие экспериментальные исследования проведены для турбулентного движения жидкости, а режим ламинарного течения в каналах с внезапным расширением обычно рассматривался при малых значениях чисел Рейнольдса но современный прогресс в области компьютерной гидромеханики позволяет повысить качество моделирования физических процессов вихреобразования и получить устойчивые численные решения при умеренных числах Рейнольдса. В [18] предложен эффективный метод численного интегрирования полной системы нестационарных уравнений Навье-Стокса в физических переменных скорость-давление для несжимаемой жидкости.

Цель данной работы состоит в применении указанного метода для решения внутренней задачи гидродинамики о отрывные течении жидкости в канале с внезапным односторонним расширением, внезапным односторонни дважды расширением, симметричной двухсторонним расширением, несимметричной двухсторонним расширением. При этом наряду с изучением структуры течения вблизи уступа, преследовалась цель аппробации эффективности данного метода для расчета сложных течений, характеризующихся наличием возвратно-вихревых областей течения.

2. ФИЗИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ.

Рассматривается двумерное течении в канале с различними внезапными расширением в виде уступа. Физическая картины анализируемого течении, и конфигурация расчетной области представлены на рис. 1. Где а-внезапный односторонний расширения, б-внезапный односторонний дважды расширением, в-симметричный двухсторонний расширения, г-несимметричный двухсторонний расширения.



а) б)

в) г)

Рис. 1. Физический схемы течении во внезапно расширяющимся канале

Начало введенной декартовой системы координат находится в левом нижнем углу в точке 0. Ширина канала в левом входном сечении $A_1 A_2$ имеет размер h_1, а в правом выходном сечении CC_2 (для а, в на рис.1), CC_3 (для б, г на рис.1) размер h. Высоты уступов BB_1 (для а на рис.1), BB_2 (для б на рис.1) равна соответственно $a = h - h_1$, BB_1, B_2B_3 (для в на рис.1), BB_1, D_2D_3 (для г на рис.1) равна соответственно $b = 0.5(h - h_1)$. Левая $A_1 A_2$ и правая CC_3 границы расчетной области считаются достаточно удаленными от сечения с внезапным расширением BB_1B_2 (для а на рис.1), $B_1B_2B_3, DD_1D_3$ (для б на рис.1), BB_1, B_2B_3 (для в на рис.1), BB_1, D_2D_3 (для г на рис.1) чтобы на них можно было принять условия, соответствующие невозмущенному течению. Кроме того, предполагается, что в канале в области $A_1A_2B_1B_2$ перед уступом выполняются условия полностью развитого течения. Тогда в сечении A_1A_2 для горизонтальной скорости реализуется параболический профиль, форма которого зависит от параметра $E = a/h, E = b/h,$. В выходном сечении CC_3 расчетной области вдали от уступа профиль горизонтальной скорости по предположению установившийся и описывается параболой Пуазейля.

Для описания движения жидкости используются нестационарные уравнения Навье-Стокса без каких-либо упрощающих предположений. При введении безразмерных величин за масштаб длины принимается ширина канала h, за масштаб скорости принята среднерасходная скорость в канале.

В безразмерных величинах система нестационарных уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности с постоянными плотностью $\rho = const$ и кинематической вязкостью ν в декартовых координатах имеет следующий вид [23]:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} = \nu\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right), \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial y} = \nu\left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right), \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь U, V – соответственно аксиальная, радиальная составляющие вектора скорости потока, p – гидростатическое давление, ν - молярная кинематическая вязкость.

Для завершения постановки задачи необходимо задать начальные и краевые условия на всех границах расчетной области. Пусть жидкость движется слева направо для всех каналов. Граничное условие для горизонтальной скорости в начальном сечении A_1A_2, а вертикальная скорость V в сечении A_1A_2 принимается равной нулю. На всех неподвижных твердых стенках выполняются очевидные граничные условия прилипания $U|_\Gamma = 0$ и не протекания $V|_\Gamma = 0$, где Г - твердая граница.

На выходе из расчетной области в сечении CC_3 для горизонтальной и вертикальной скоростей принимаются стандартные условия вытекания Неймана. В начальный момент времени горизонтальная скорость в расчетной области имеет соответсвующий параболический профиль, а поперечная скорость и давление равны нулю. Основными параметрами задачи являются число Рейнольдса и геометрическая высота уступа $E = a/h, E = b/h$. Следует подчеркнуть, что давление P в рассматриваемой системе уравнений не является основной переменной ни в одном из этих уравнений. При нашем подходе необходимое уравнение для давления выводится из уравнения

неразрывности в виде уравнения типа Пуассона. При этом необходимые для его решения значения давления в граничных узлах определяются с помощью уравнений движения в комбинации с граничными условиями для компонентов скорости [16]. В процессе решения задачи требуется определить поля скорости и давления в расчетной области и исследовать влияние числа Рейнольдса и геометрического размера уступа E на структуру течения в канале и протяженность циркуляционной области, которая образуется вниз или верх по потоку за уступами.

3. МЕТОД РЕШЕНИЯ

Общий принцип решение системы исходных нестационарных уравнений (1) выполняется методом конечных разностей на установление. Из-за сложностей согласования полей скорости и давления для дискретизации уравнений движения в X,Y направлениях и уравнения неразрывности использовалась сетка с разнесенной структурой расположения сеточных узлов для зависимых переменных. Это означает, что компоненты скоростей и давления определяются в различных узлах. Такой подход аналогичен методам SIMPLE [17] и дает определенные преимущества при расчете поля давления. Для конечно-разностной аппроксимации исходных уравнений движения используются двух шаговую неявную схему Писмена — Ракфорда [19], а для уравнений неразрывности используются неявная схема. Схема Писмена — Ракфорда аппроксимации второго порядка точности для производных по времени и по пространству т.е. $O(\Delta t^2, \Delta x^2, \Delta y^2)$. При этом диффузионные и конвективных слагаемые аппроксимируются по схеме с центральными разностями. Схема Писмена — Ракфорда имеет следующий вид

На шаге 1 проводится прогонка по направление i

$$\overline{\Phi}_{i,j} - \Phi^n_{i,j} + \Delta t U^n_{i,j} \frac{\overline{\Phi}_{i+1,j} - \overline{\Phi}_{i-1,j}}{2\Delta x} + \Delta t V^n_{i,j} \frac{\Phi^n_{i,j+1} - \Phi^n_{i,j-1}}{2\Delta y} = \quad (2)$$

$$= \Delta t \frac{\Phi^n_{i,j+1} - 2\Phi^n_{i,j} + \Phi^n_{i,j-1}}{\mathrm{Re}\,\Delta y^2} + \Delta t \frac{\overline{\Phi}_{i+1,j} - 2\overline{\Phi}_{i,j} + \overline{\Phi}_{i-1,j}}{\mathrm{Re}\,\Delta x^2} - \Delta t \frac{p^{n+1}_{i+1,j} - p^{n+1}_{i-1,j}}{2\Delta x}.$$

а на шаге 2 — прогонка по направление j

$$\widetilde{\Phi}_{i,j} - \overline{\Phi}_{i,j} + \Delta t U^n_{i,j} \frac{\overline{\Phi}_{i+1,j} - \overline{\Phi}_{i-1,j}}{2\Delta x} + \Delta t V^n_{i,j} \frac{\widetilde{\Phi}_{i,j+1} - \widetilde{\Phi}_{i,j-1}}{2\Delta y} = \quad (3)$$

$$= \Delta t \frac{\widetilde{\Phi}_{i,j+1} - 2\widetilde{\Phi}_{i,j} + \widetilde{\Phi}_{i,j-1}}{\mathrm{Re}\,\Delta y^2} + \Delta t \frac{\overline{\Phi}_{i+1,j} - 2\overline{\Phi}_{i,j} + \overline{\Phi}_{i-1,j}}{\mathrm{Re}\,\Delta x^2} - \Delta t \frac{p^{n+1}_{i+1,j} - p^{n+1}_{i-1,j}}{2\Delta x}.$$

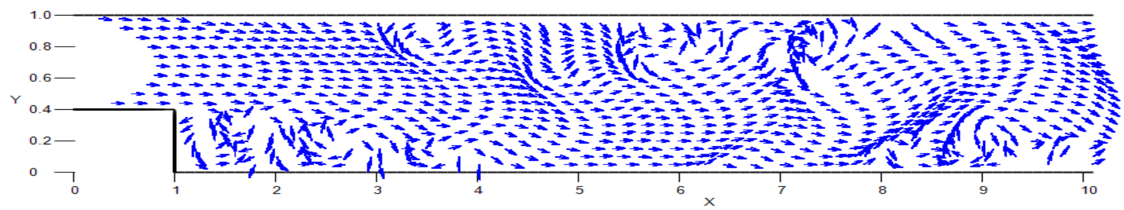
Здесь $\Phi = U$ приставлен схема только продольного скорости, для поперечного скорости тоже использован такой схема. Особенностью дискретизации является то, что конечно-разностная аппроксимация центрируется в соответствии с выбранным шаблоном. При этом сеточные индексы для зависимых переменных оказываются сдвинутыми [20]. Необходимое уравнение для вычисления давления можно получить из уравнения неразрывности. С этой целью будем следовать известной процедуре SIMPLE [22]. Отметим, что уравнение Пуасона для давления фактически заменяет уравнение неразрывности, и система уравнений оказывается замкнутой. В нашем случае эффективным способом решения, рассматриваемого двумерного разностного уравнения второго порядка для движении и давлении является его редукция к системам уравнений второго порядка с трехдиагональными матрицами, которые решаются методом "прогонки" [20].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

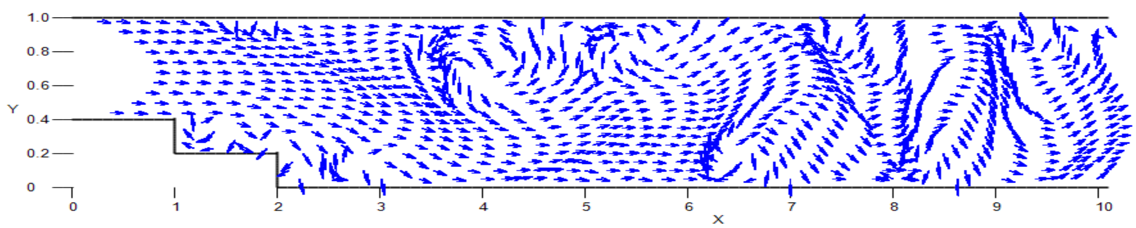
Данная работа преследовала три основные цели. Первая состояла в апробации численной схемы интегрирования двумерных нестационарных уравнений Навье-Стокса в переменных скорость-

давление на примере расчета течения в канале с различным внезапным расширением. Вторая - в конечно-разностной аппроксимации исходных уравнений использовался двух шаговый неявную схема Писмена — Ракфорда. Третьим – в изучении детальной структуры течения и поля скорости в канале, на нижней и верхней стенке которого имеется уступы с вертикальным размером $E = a/h, E = b/h$. Основные численные расчеты были проведены при значении параметра $E = a/h = 0.4, E = b/h = 0.3$ на сетках с шагами $\Delta x = 0.08, \Delta y = 0.01$. Расчеты выполнены для число Рейнольдса (Re= 2000) для каналах внезапным односторонним и односторонни дважды расширением. А для симметричной двухсторонним и несимметричной двухсторонним расширением расчеты выполнены для число Рейнольдса (Re=1000).

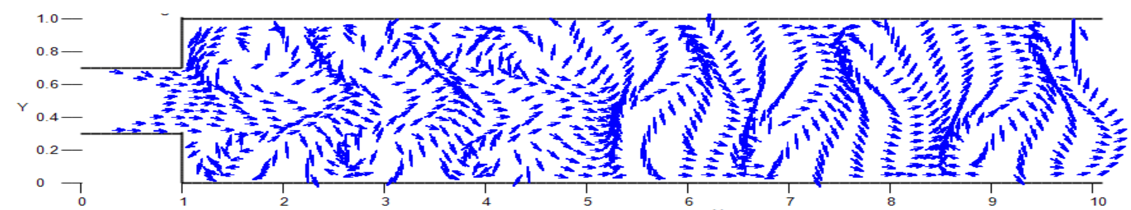
На рис. 2 приведены результаты расчетов в виде векторного поля скоростей в расчетной области канала внезапным односторонним а) односторонним дважды б) симметричной двухсторонним в) несимметричной двухсторонним г) расширением с высотой уступа $E = 0.4$ для $t = 10$.



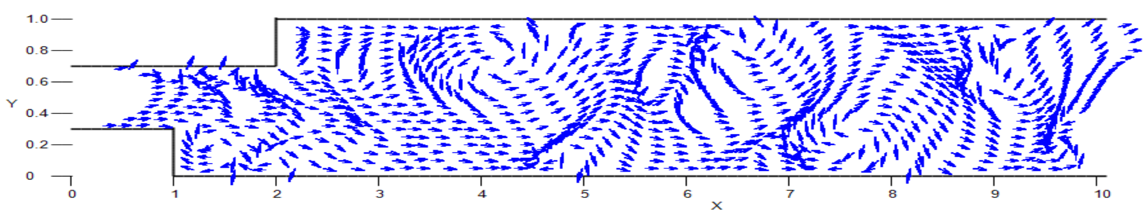
а)



б)



в)

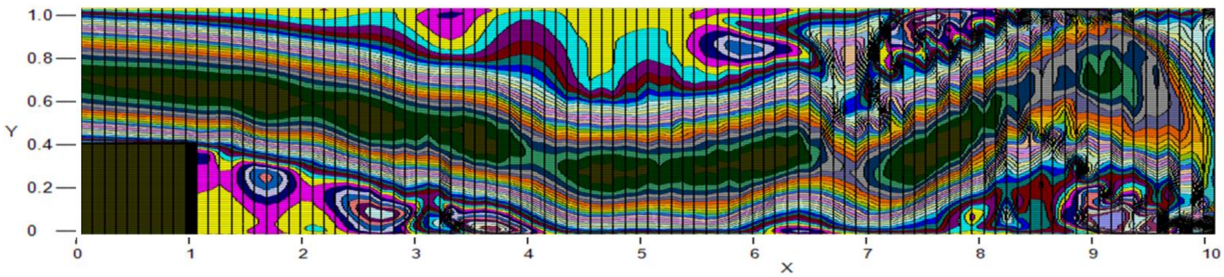


г)

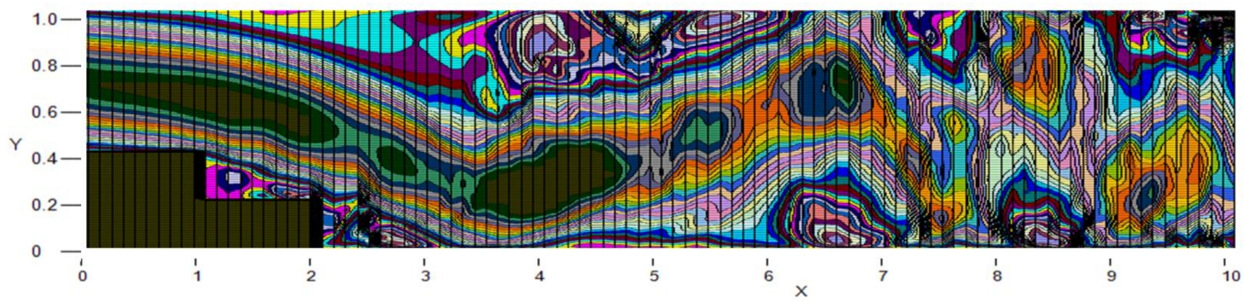
Рис. 2. Расчетное векторное поле скоростей

Из приведенных рисунков видно, что для указанных двух чисел Рейнольдса (рис 2), вычисленных по выходной ширине канала h, в зоне за уступом характерно образование возвратных течений, а протяженность этой зоны и структура циркуляционного течения в ней зависят от числа

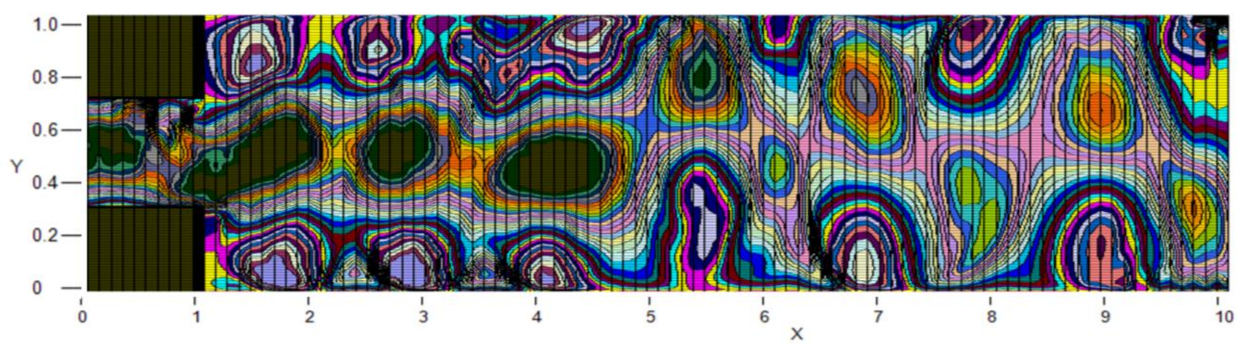
Рейнольдса и высоты уступа Нетрудно видеть, горизонтальный размер и структура вторичной вихрей усложняется и приводит к образованию нескольких локальных вихревых областей, которые отчетливо видны (на рис. 2). На рис. 3 приставлен изолиний поле скоростей канала внезапным односторонним а) односторонним дважды б) симметричной двухсторонним в) несимметричной двухсторонним г) расширением с высотой уступа $E = 0.4$ для $t = 10$.



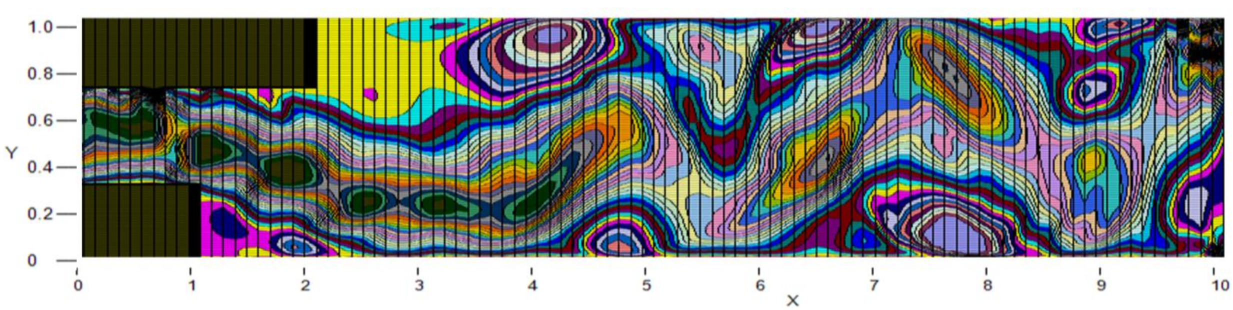
а)



б)



в)



г)

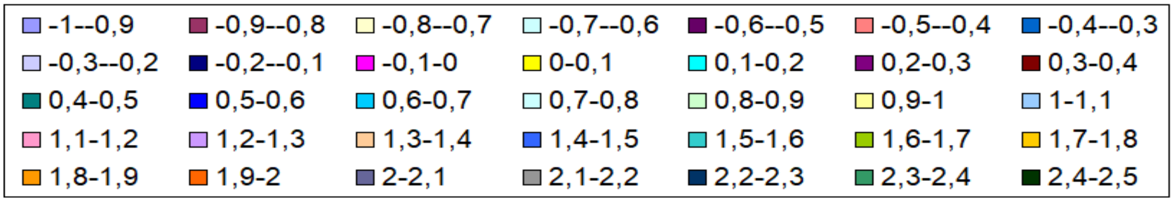


Рис. 3. Расчетное изолиний поле скоростей в канале

Анализ векторного и изолинии поля, и расположение линий равных скоростей, подобных линиям тока, наглядно показывает особенности и структуру циркуляционного движения жидкости. Из-за прилипания жидкости на нижней и верхней стенке канала движение в циркуляционной зоне несимметрично. С ростом числа Рейнольдса центр основного вихря смещается вправо по направлению основного потока в канале. Очевидно, что зона рециркуляции в рассмотренных случаях подпитывается жидкостью из основного потока благодаря образованию возвратного течения в зоне за уступами, как показано на рис. 2-3.

5. ВЫВОД

Универсальный дискретный аналог общих нестационарных уравнений Навье-Стокса в переменных скорость-давление успешно применен для решения задачи о течении в канале с внезапным односторонним расширением, внезапным односторонни дважды расширением, симметричной двухсторонним расширением, несимметричной двухсторонним расширением. Разработанный численный метод решения системы разностных уравнений движения показал эффективность используемой численной двух шаговый неявную схема Писмена — Ракфорда для расчета сложных течений с рециркуляциями и высокое качество моделирования тонкой структуры течения в вихревых зонах до чисел Рейнольдса $\mathrm{Re} < 2000$. В результате детального исследования полей скорости закономерности формирования вихревой структуры течения в канале с внезапным расширением, включая вторичные вихревые образования и нестационарные отрывные режимы течения. В заключение следует отметить, что хотя при $\mathrm{Re} = 2000$ численное решение оставалось устойчивым, но относиться к нему следует осторожно и рассматривать его нужно как численный эксперимент, полезный для более глубокого понимания свойств решений полных уравнений Навье-Стокса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Blasius H.* Laminare Stromung in Kanalen Wecselnder Briete // Zeitschrift filer Mathematik und Physik. - 1910. - 10. - S. 225.
2. *Honji H.* The starting flow down a step // J. Fluid Mech.- 1975.- 69, Pt. 2.- P. 229-240.
3. *Синха С. П., Гупта А. К., Оберай М. М.* Ламинарное отрывное обтекание уступов и каверн. Ч 1. Течение за уступом // Ракетная техника и космонавтика. - 1981. - 19, N 12. - С. 33-37.
4. Abdukarimov, B. A. (2021). Improve Performance Efficiency As A Result Of Heat Loss Reduction In Solar Air Heater. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, *29*(1), 505-511.
5. Abdukarimov, B., O'tbosarov, S., & Abdurazakov, A. (2021). Investigation of the use of new solar air heaters for drying agricultural products. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 264, p. 01031). EDP Sciences.
6. Madaliev, M. E. U., Maksudov, R. I., Mullaev, I. I., Abdullaev, B. K., & Haidarov, A. R. (2021). Investigation of the Influence of the Computational Grid for Turbulent Flow. *Middle European Scientific Bulletin*, *18*, 111-118.

7. Madaliev, M. E. O., & Navruzov, D. P. (2020). Research of νt-92 turbulence model for calculating an axisymmetric sound jet. *Scientific reports of Bukhara State University*, *4*(2), 82-90.
8. Мадрахимов, М. М., & Абдулҳаев, З. Э. (2019). Насос агрегатини ишга туширишда босимли сув узатгичлардаги ўтиш жараёнларини ҳисоблаш усуллари. *Фарғона Политехника Институти Илмий–Техника Журнали*, *23*(3), 56-60.
9. Arifjanov, A., Otaxonov, M., & Abdulkhaev, Z. (2021). Model of groundwater level control using horizontal drainage. *Irrigation and Melioration*, *2021*(4), 21-26.
10. ugli Moʻminov, O. A., Maqsudov, R. I., & qizi Abdukhalilova, S. B. (2021). Analysis of Convective Finns to Increase the Efficiency of Radiators used in Heating Systems. *Middle European Scientific Bulletin*, *18*, 84-89.
11. Mo'minov, O. A., Abdukarimov, B. A., & O'tbosarov, S. R. (2021). IMPROVING SUPPORT FOR THE PROCESS OF THE THERMAL CONVECTION PROCESS BY INSTALLING REFLECTIVE PANELS IN EXISTING RADIATORS IN PLACES AND THEORETICAL ANALYSIS. In *Наука и инновации в строительстве* (pp. 47-50).
12. Madraximov, M. M., Abdulkhaev, Z. E., & ugli Inomjonov, I. I. (2022). Factors Influencing Changes In The Groundwater Level In Fergana. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, *30*(2), 523-526.
13. Madraximov, M., Yunusaliev, E., Abdulhayev, Z., & Akramov, A. (2021). *Suyuqlik va gaz mexanikasi fanidan masalalar to'plami*. GlobeEdit.
14. Мадхадимов, М. М., Абдулхаев, З. Э., & Сатторов, А. Х. (2018). Регулирования работы центробежных насосов с изменением частота вращения. *Актуальные научные исследования в современном мире*, (12-1), 83-88.
15. Xamdamaliyevich, S. A., & Rahmankulov, S. A. (2021, July). INVESTIGATION OF HEAT ANSFER PROCESSES OF SOLAR WATER, AIR CONTACT COLLECTOR. In *E-Conference Globe* (pp. 161-165).
16. Mirsaidov, M., Nosirov, A., & Nasirov, I. (2020). Spatial forced oscillations of axisymmetric inhomogeneous systems. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 164, p. 02009). EDP Sciences.
17. Nosirov, A. A., & Nasirov, I. A. (2021). Natural and Forced Vibrations of Axisymmetric Structure Taking into Account the Viscoelastic Properties of the Base. *Middle European Scientific Bulletin*, *18*, 303-311.
18. Erkinjonovich, A. Z., Mamadaliyevich, M. M., O'G'Li, S. M. A., & Egamberdiyevich, T. N. (2021). Farg'ona Shahar Yer Osti Sizot Suvlarining Ko'tarilish Muammosi Va Yechimlari. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, *1*(3), 138-144.
19. Мадрахимов, М. М., Абдулҳаев, З. Э., & Ташпулатов, Н. Э. (2019). Фарғона Шаҳар Ер Ости Сизот Сувлари Сатҳини Пасайтириш. *Фарғона Политехника Институти Илмий–Техника Журнали*, *23*(1), 54-58.
20. Рашидов, Ю. К., Орзиматов, Ж. Т., & Исмоилов, М. М. (2019). Воздушные солнечные коллекторы: перспективы применения в условиях Узбекистана. In *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2019* (pp. 1388-1390)
21. Рашидов, Ю. К., Исмоилов, М. М., Рашидов, К. Ю., & Файзиев, З. Ф. (2019). Определение оптимального количества расчётных слоев многослойного водяного стратификационного

аккумулятора теплоты при расчете саморегулирующегося активного элемента. In *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2019* (pp. 1372-1376).

22. Madraximov, M. M., Abdulkhaev, Z. E., & Orzimatov, J. T. (2021). GIDRAVLIK TARAN QURILMASINING GIDRAVLIK HISOBI. *Scientific progress*, *2*(7), 377-383.
23. Rashidov, Y. K., & Orzimatov, J. T. (2022). SOLAR AIR HEATER WITH BREATHABLE MATRIX ABSORBER MADE OF METAL WIRE TANGLE. *Scientific-technical journal*, *5*(1), 7-13.
24. Mamatisaev, G. I., & Abdullaeva, I. (2021). Effective Solutions of Water Resources. *CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES*, *2*(12), 253-259.
25. Usarov, M., Usarov, D., & Mamatisaev, G. (2021, May). Calculation of a Spatial Model of a Box-Type Structure in the LIRA Design System Using the Finite Difference Method. In *International Scientific Siberian Transport Forum* (pp. 1267-1275). Springer, Cham.
26. Usarov, M. K., & Mamatisaev, G. I. (2020, November). Calculation on seismic resistance of box-shaped structures of large-panel buildings. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 971, No. 3, p. 032041). IOP Publishing.
27. Jovliev, O. T., Khujakulova, M. K., Usmonova, N. A., & O'tbosarov, S. R. (2021). Modeling the Theory of Liquid Motion Variable on the Way Flow. *Middle European Scientific Bulletin*, *18*, 455-461.
28. Абдукаримов, Б. А., Муминов, О. А., & Утбосаров, Ш. Р. (2020). Оптимизация рабочих параметров плоского солнечного воздушного обогревателя. In *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности* (pp. 8-11).
29. Bekzod, A. (2020). Relevance of use of solar energy and optimization of operating parameters of new solar heaters for effective use of solar energy. *IJAR*, *6*(6), 16-20.
30. Madraximov, M. M., Nurmuxammad, X., & Abdulkhaev, Z. E. (2021, November). Hydraulic Calculation Of Jet Pump Performance Improvement. In *International Conference On Multidisciplinary Research And Innovative Technologies* (Vol. 2, pp. 20-24).
31. Hamdamalievich, S. A., & Nurmuhammad, H. (2021). Analysis of Heat Transfer of Solar Water Collectors. *Middle European Scientific Bulletin*, *18*, 60-65.
32. Madraximov, M., Yunusaliev, E., Abdulhayev, Z., & Akramov, A. (2021). *Suyuqlik va gaz mexanikasi fanidan masalalar to'plami*. GlobeEdit.
33. Акрамов, А. А., Шарифов, А., Умаров, У. Х., Хокиев, М. К., & Ахмедов, М. Ф. (2020). Эффекты суперпластификаторов в бетонной смеси. *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*, (1), 139-143.
34. Умурзакова, М. А., Усмонов, М. А., & Рахимов, М. Н. (2021). АНАЛОГИЯ РЕЙНОЛЬДСА ПРИ ТЕЧЕНИЯХ В ДИФФУЗОРНО-КОНФУЗОРНЫХ КАНАЛАХ. *Экономика и социум*, (3-2), 479-486.
35. Аббасов, Ё. С., & Умурзакова, М. А. (2020). РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ. In *Современные проблемы теплофизики и энергетики* (pp. 7-8).

36. Salyamova, K. D., & Turdikulov, K. K. (2021, May). Stress state of an earth dam under main loads considering data from field observations. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1926, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
37. АБДУЛҲАЕВ, З., & МАДРАХИМОВ, М. (2020). Гидротурбиналар ва Насосларда Кавитация Ҳодисаси, Оқибатлари ва Уларни Бартараф Этиш Усуллари. Ўзбекгидроэнергетика" илмий-техник журнали, 4(8), 19-20.
38. Kh, T. K. (2021). Strength Evaluation of the Charvak Earth Dam in a Plane Formulation. Middle European Scientific Bulletin, 18, 424-434.